

Barbara LUŇÁČKOVÁ¹, Eva HRUBEŠOVÁ²

STANOVENÍ DYNAMICKÉ ODEZVY BERANĚNÍ PILOT S VYUŽITÍM PROGRAMOVÉHO
SYSTÉMU CESAR LCPC - CLEO3D

ASSESSMENT OF DYNAMIC RESPONSE CAUSED BY PILE DRIVING USING CESAR
LCPC – CLEO 3D COMPUTATION SYSTEM

Abstract

The aim of the project is to analyse and make overall assessment of dynamic response of foundation caused by pile driving. This situation was modelled with use of CESAR LCPC – CLEO 3D computation system (FEM).

Key words: mathematic modelling, dynamic response, CESAR

Úvod

Stanovit interakci mezi horninovým prostředím a stavební konstrukcí není jednoduchou záležitostí, zvláště je-li tato konstrukce dynamicky zatížena. K řešení dané problematiky je možné využít empirických metod, ty však v sobě zahrnují celou řadu zjednodušení a výsledky se pak zpravidla omezují na deformace a vnitřní síly přenášené konstrukcí. Rychle se rozvíjející výpočtová technika však otevřela možnost stanovit tuto interakci prostřednictvím komplexnějšího a sofistikovanějšího přístupu, a tím je matematické modelování. Samozřejmě, že i zmíněný přístup v sobě nese celou řadu úskalí. Záměrem autorů však není charakterizovat ona úskalí matematického modelování (viz např. Šilhan a Šejnoha, 2004, Herle, 2000), cílem příspěvku je poukázat na možnost využití jednoho z řady programových systémů využívajících matematického modelování pro stanovení dynamické odezvy stavební konstrukce. Tímto programem je CESAR LCPC – CLEO 3D, produkt francouzské firmy Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Jelikož území České republiky nepatří do oblasti s intenzivními seizmickými účinky (např. Kaláb, 2003), nebylo snahou stanovit charakter dynamické odezvy stavební konstrukce na seizmické zatížení dané zemětřesením. Článek je orientován na - pro Českou republiku aktuálnější - technickou seizmicitu. Pojem technická seizmicita v sobě zahrnuje vibrace vyvolané umělým zdrojem (doprava, průmyslová činnost, trhací práce, apod.) (např. Lednická et al., Kaláb & Lednická, 2006). Jako zdroj dynamického zatížení byl pro model vybrán případ beranění prefabrikované železobetonové piloty v blízkosti plošné základové konstrukce.

Charakteristika výpočtového modelu

Problematika beranění prefabrikované piloty byla modelována s pomocí výpočtového systému CESAR LCPC 3D, který pracuje na principu metody konečných prvků. Program poskytuje výběr z šesti dynamických modulů pro řešení různých způsobů dynamického zatížení. Pro modelování této úlohy byl vybrán modul DYN1, který řeší odezvu dynamicky zatížené konstrukce prostřednictvím přímé integrace. Tento modul dává možnost průběžné (krokové) kontroly při řešení dynamické rovnice rovnováhy, která má tvar

$$[M]\{\ddot{X}(t)\} + [C]\{\dot{X}(t)\} + [K]\{X(t)\} = \{F(t)\}, \quad (1)$$

kde $\{X(t)\}$ vektor posunů,
 $\{\dot{X}(t)\}, \{\ddot{X}(t)\}$ vektor rychlosti a zrychlení,

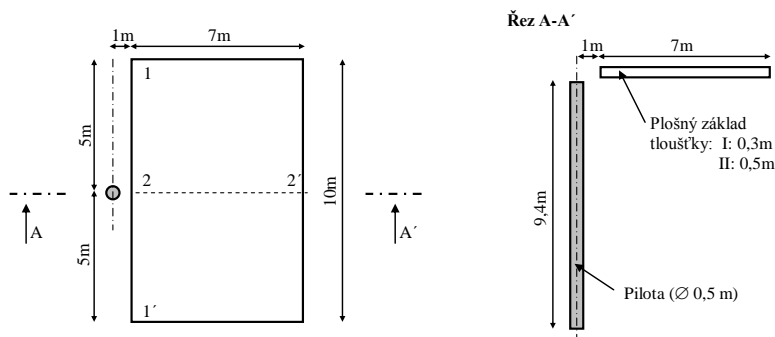
¹ Ing., VŠB – TU Ostrava, fakulta stavební, L. Podéště 1875, Ostrava - Poruba, barbara.lunackova@vsb.cz

² Doc. RNDr., PhD., VŠB – TU Ostrava, fakulta stavební, L. Podéště 1875, Ostrava - Poruba, eva.hrubesova@vsb.cz

[M], [C], [K] matice hmotnostní, matice tlumení a matice tuhosti,
{F (t)} vektor zatížení jako funkce času.

Tento modul umožňuje řešit pouze lineární úlohy, kde matice K, C a M jsou konstantami.

Cílem bylo zjistit, jakým způsobem ovlivní beranění prefabrikované betonové piloty blízkou základovou konstrukci. V autory vytvořené modelové situaci měla pilota průměr 0,5m, délku 9,4m a byla beraněná ve vzdálenosti 1m od hrany plošného základu o půdorysných rozměrech 7x10m. Schéma modelu je znázorněno na obr. 1. Horninové prostředí bylo zvoleno jako homogenní, izotropní zeminové prostředí, jeho parametry jsou v tab. 1. Materiálové charakteristiky piloty a základové konstrukce jsou taktéž uvedeny v tab. 1. Vliv vody v modelu nebyl uvažován.



Obr.1 Schéma modelu.

Snahou bylo potvrdit vybraným výpočtovým modulem předpoklad, že se zvětšující se tuhosti základové konstrukce se budou účinky od dynamického zatížení v základu zmenšovat. Řešily se proto dvě modelové situace, které se od sebe lišily pouze tuhostí základové konstrukce. Tuhost základu nebyla určena rozdílnými přetvárnostními charakteristikami, nýbrž geometrií (konkrétně tloušťkou základu) a objemovou hmotností. První modelový případ (označen „I“) odpovídal pružnější variantě základové konstrukce, druhý modelový případ (označen „II“) tužší variantě základové konstrukce. Hodnoty objemových hmotností a tloušťky základových konstrukcí pro oba případy jsou uvedeny spolu s ostatními materiálovými parametry v tab. 1.

Tab.1 Materiálové parametry.

	ρ [kgm ⁻³] objemová hmotnost	E [MPa] deformační modul	ν [-] Poissonovo číslo	
Zemina	1620	80	0,483	
Pilota	2500	2,6e4	0,2	Ø 0,5m
Základ „I“	2500	3,1e4	0,2	tloušťka základu 0,3m
Základ „II“	3000	3,1e4	0,2	tloušťka základu 0,5m

Aplikované dynamické zatížení odpovídalo působení vibrátoru typu ICE 815 a bylo modelováno jako plošné zatížení působící na hlavě piloty. Průběh dynamického zatížení jako funkce času je znázorněn v grafu 1. Modelovaly se 2 beranící cykly působící po dobu 0,085 s, které byly rozděleny do 170 výpočtových kroků. Každý krok odpovídal časovému přírůstku 0,0005 s. Rovnice zatěžovací křivky je:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t) \quad (2)$$

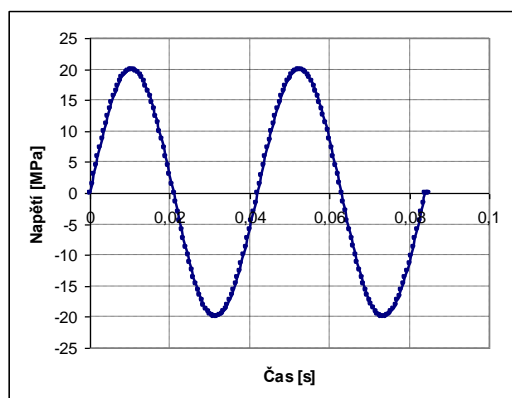
kde $\sigma_0 = 20\text{MPa}$ amplituda zatížení,

$f_0 = 23,8\text{Hz}$ frekvence.

Model měl v obou případech rozměry 100x100x30mm a byl tvořen prostorovými prvky. Pilota byla umístěna do středu modelu.

Výsledky řešení

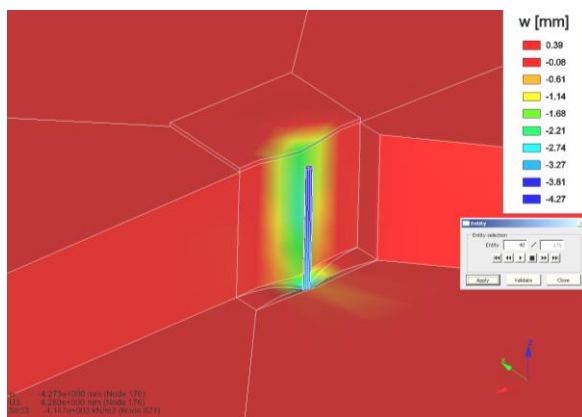
Pro zhodnocení velikosti odezvy základové konstrukce na dynamické zatížení je v článku popsán vývoj svislých posunů v samotném základu, konkrétně v základové linii 1-1' a 2-2' (linie naznačeny v obr. 1). Na obrázku 2 jsou pro názornost vykresleny svislé posuny odpovídající 40. výpočtovému kroku ($t = 0,02\text{s}$).



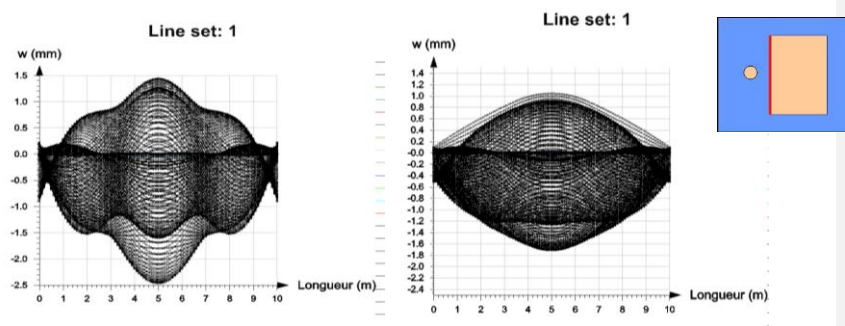
Graf 1 Průběh dynamického zatížení odpovídající dvěma beranícím cyklům.

Maximálních svislých posunů bylo dle předpokladu dosaženo ve středu základové linie 1-1', resp. v samotném bodě 2 linie 2-2' pro oba modelové případy. Z průběhu svislých posunů pro všechny výpočtové kroky v obou liniích (viz obr. 3 a 4) je patrný rozsah těchto hodnot. Pro pružnější základ (model „I“) nabývají svislé posuny hodnot od -2,5mm do 1,5mm, pro tužší základ (model „II“) hodnot od -1,7mm do 1,1mm.

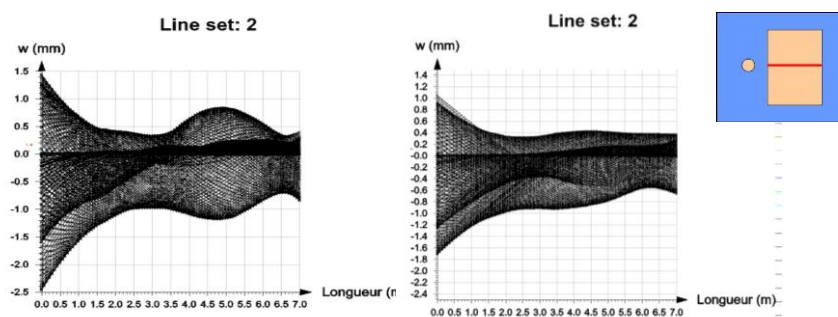
Provedeme-li příčný řez středem základové konstrukce (linie 2-2') a vykreslíme vývoj maximálních svislých posunů pro všechny výpočtové kroky i v této linii, můžeme opět odečíst rozsahy maximálních posunů dosažených v průběhu výpočtu, které nabývají stejných maximálních hodnot jako v linii 1-1' (rozsahy těchto posunů jsou uvedeny v předchozím odstavci). V příčném řezu tužší konstrukce je patrné, že s přibývajícím vzdáleností dochází k utlumení svislých posunů. Naproti tomu u pružnější základové konstrukce dochází k lokálním nárůstům a opětovným poklesům svislých posunů.



Obr.2 Svislé posuny odpovídající 40. výpočtovému kroku (0,02s).



Obr.3 Průběh svislých posunů základové linie 1-1' pro všechny výpočtové kroky pro pružnější (vlevo) a tužší základ (vpravo).



Obr.4 Průběh svislých posunů základové linie 2-2' pro všechny výpočtové kroky pro pružnější (vlevo) a tužší základ (vpravo).

Pomocí 3D modelování vycházejícího z principu metody konečných prvků se tedy potvrdil předpoklad, že se zvětšující se tuhostí základové konstrukce se velikost posunů v základu zmenšuje, jak naznačuje graf 2. V tomto grafu jsou vykresleny maximální posuny středu linie 1-1', kterých bylo dosaženo v průběhu dvou modelovaných beranících cyklů.



Graf 2 Závislost svislých posunů ve středu základové linie 1-1' na čase.

Závěr

Příspěvek pojednává o možnosti stanovení účinků technické seizmicity na stavební konstrukci prostřednictvím matematického modelování, konkrétně pomocí výpočtového programu CESAR LCPC – CLEO 3D pracujícím na principu metody konečných prvků. Článek tedy poukázal na možnost a vhodnost využití zmíněného programového systému pro stanovení účinků od dynamického zatížení na blízkou základovou plošnou konstrukci. Zdrojem dynamického zatížení bylo v uvedeném modelovém případě beranění železobetonové prefabrikované piloty délky 9,4 m a průměru 0,5 m vzdálené 1 m od plošného základu o velikosti 7x10x0,3 m (model „I“) resp. 7x10x0,5 m (model „II“).

Byly vytvořeny dvě fiktivní modelové situace (model „I“ a model „II“), které se od sebe lišily pouze tuhostí základové desky. Pro posouzení míry účinků od dynamického zatížení byl sledován vývoj svislých posunů ve dvou liniích základové konstrukce (linie naznačeny v obr. 1) v průběhu dvou beranících cyklů, které odpovídaly časovému úseku 0,085 s. Ukázalo se, že větších svislých posunů bylo dosaženo u pružnější konstrukce (model „I“), menších svislých posunů u tužší konstrukce (model „II“). Pružnější základová konstrukce navíc vykazovala zřetelnější lokální nárůsty a poklesy svislých posunů ve sledovaných základových liniích oproti tužší základové konstrukci (viz. obr. 3, 4). Dá se tedy předpokládat, že se zvětšující se pružností základové konstrukce se budou svislé posuny v základu způsobené beraněním blízké piloty zvětšovat a naopak se zvětšující se tuhostí základu se budou zmenšovat. Stejně tak lze očekávat, že se zvětšující se tuhostí bude ubývat lokálních nárůstů a poklesů svislých posunů v základové konstrukci.

V tomto případě se program CESAR LCPC – CLEO 3D a jeho dynamický modul DYNI ukázal jako vhodný nástroj pro stanovení účinků na dynamické zatížení způsobeným beraněním piloty.

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Herle, I. (2000): Rozvoj numerického modelování v geomechanice; *Geotechnika* 4/2000, 3-7s.
- [2] Kaláb, Z. (2003): Seizmické projevy trhacích prací na Chomutovsku. Zkrácená verze habilitační práce. Vědecké publikace fakulty stavební VŠB – Technické univerzity Ostrava, 38 stran.
- [3] Kaláb, Z. & Lednická, M. (2005): Analýza seizmických odezev vybraných budov a konstrukcí. *Technické listy* 2005, Díl 1: Soubor úvodních technických listů, CIDEAS, ČVUT, ISBN 80-01-03486-0.
- [4] Lednická, M., Luňáčková, B., Kaláb, Z., Hruběšová, E. & Kořínek, R. (2006): Contribution to Evaluation of Technical Seismicity Effect on Buildings - Case Study, *Earth Sciences Research Journal* (formerly *Geofísica Colombiana*), Vol. 10, No. 1, 2006, 7-14.
- [5] Manuál programu CESAR CLEO – LCPC 3D.
- [6] Muneo, H. (2006): *Introduction to Computational Earthquake Engineering*, Imperial College Press, London.
- [7] Vilhan, M. & Šejnoha, M. (2004): Aplikace metody konečných prvků při analýze pažicích konstrukcí, část 1 – Základní principy modelování; *Geotechnika* 3/2004, 9-14s.